

УДК 539.1

І.В. Кандрачук, канд. техн. наук

Особливості конструювання акустичних екранів антен для рідинних акустичних технологій

Проведено аналіз накопиченого досвіду конструювання акустичних екранів для електроакустичних антен і перетворювачів, призначених для реалізації акустичних технологій в рідинах. Встановлені позитивні якості і недоліки сучасних конструкцій акустичних екранів і напрями їх подальшого розвитку.

The analysis of experience designing screens for electro acoustic antennas and converters designed to implement acoustic technologies in liquids. A positive qualities and shortcomings of modern designs of acoustic screens and directions of their further development.

Ключеві слова: акустичні екрани, електроакустичні антени, звукоізолюючі конструкції, стержневі перетворювачі.

Вступ

В електроакустичних антенах широко використовуються акустичні екрани – звукоізолюючі пасивні конструкції, які слугують для покращення направлених властивостей антен та підвищення ефективності електроакустичних перетворювачів. В залежності від типу антени акустичний екран може бути або основним, або допоміжним засобом створення заданої направленості [1, 2, 10]. В рефлекторних та рупорних антенах екран є невід'ємною частиною антени, оскільки по самому принципу дії ці антени не можуть нормально функціонувати без рефлектора або відбиваючих поверхонь, що утворюють рупор. В антенах іншого типу введення до їх складу екрануючих конструкцій перетворює такі антени в односторонні, які приймають чи випромінюють звук з одної сторони. В антенах, які утворені із циліндричних перетворювачів, екрани, крім забезпечення направленості, використовуються для зменшення взаємодії по звуковому полю між перетворювачами [3, 4, 6, 7].

В залежності від функціонального призначення антен конструкції екранів виконують свої специфічні функції. В прийомних антенах конструкції акустичного екрану підвищують їх завадозахищеність. В випромінюючих антенах конструкція екрану концентрує енергію в заданому тілесному куті, забезпечуючи зростання тиску на вісі характеристики направленості та зменшуючи її тильний пелюсток [5].

Для електроакустичних антен, які працюють в рідині, частіше всього акустичним екраном служить шар, або система шарів, виконаних із матеріалів з хвильовим опором ρc , відмінним від рідини, які володіють звукоізолюючими властивостями [8, 9, 11]. Однак, тільки звукоізолюючою функції екрану не вичерпуються. Для випромінюючих антен екрани повинні мати малий вхідний імпеданс, а при екрануванні внутрішньої порожнини перетворювачів, зокрема циліндричних, зменшувати трансформацію радіальних коливань внутрішньої поверхні перетворювача в поздовжні коливання вздовж осі порожнини [12-14]. Чутливість прийомних антен суттєво залежить від того, чи є екран поглинаючий, тобто узгоджений по вхідному імпедансу з хвильовим опором рідини, або відбиваючим.

В результаті багаторічних досліджень та практичних робіт по створенню електроакустичних антен для роботи в рідині було розроблено ряд екрануючих матеріалів та конструкцій екрануючих компонентів антен та перетворювачів.

Основні види екрануючих матеріалів

Взагалі повітря в рідині є ідеальним екраном, оскільки при атмосферному тиску його хвильовий опір ρc в 3500 раз менше, ніж у рідини. При збільшенні тиску ρc повітря пропорційно збільшується і, наприклад, при тиску 35 МПа ρc повітря відрізняється від ρc рідини тільки в 10 разів. Такої відмінності було б достатньо для ефективного екранування. Однак для того, щоб створити повітряний екран, необхідно замкнути повітря в якусь герметичну оболонку. Такі оболонки можуть бути створені із синтетичних матеріалів. Монолітні синтетичні матеріали (резины, пластмаси) володіють хвильовим опором $\rho c \geq (\rho c)_{\text{рідини}}$. Можливо знизити їх ρc , якщо ввести в ці середовища газові порожнини. Найбільш простим звуковідбиваючим матеріалом є пориста гума. Екрани із пористої гуми призначені для роботи при гідростатичному тиску до 2,0 МПа. Пориста гума являє собою мікро-неоднорідне середовище з довільно розміщеними в її об'ємі ізольованими одна від другої сферичними газонаповненими порожнинами діаметром не більше 2-3 мм. Такий матеріал одержують шляхом вулканізації суміші сирової гуми з

порофором, який при високій температурі в процесі вулканізації розкладається і утворює безліч порожнин. Пориста гума володіє властивостями акустично м'якого матеріалу. Зменшення ρ_s матеріалу відносно ρ_s рідини досягається завдяки двом факторам. По-перше, пористість зменшує густину матеріалу. По-друге, наявність газонаповнених порожнин в гумі, у якій модуль зсуву на два порядки менше модуля об'ємного стиснення, дозволяє перетворювати об'ємні деформації в зсувні, суттєво збільшити динамічну стисливість гуми і таким чином знизити в ній швидкість звуку. Чим більша пористість гуми, тим акустично м'якше матеріал і тим краще його екрануючі властивості. Однак, при збільшенні пористості збільшуються і статичні деформації гуми під дією гідростатичного тиску, що обумовлює погіршення екрануючих властивостей гуми порожнинами.

Збільшити граничний робочий тиск екрану можливо шляхом збільшення статичного модуля зсуву гуми-основи. Це обумовлює, з одної сторони, зменшення можливостей деформованості середовища, з іншої – до зростання швидкості звуку. Тому пішли по шляху вибору форми порожнини, яка є більш стійкою до тиску. Таку форму мають циліндричні канали, які утворюють в шарі гуми щільну упаковку [14]. Екрани із шарів гуми з циліндричними каналами використовуються при гідростатичному тиску до 4,0 МПа. Для того, щоб цей екран міг працювати в рідині, порожнини необхідно загерметизувати. Найбільш простим способом є герметизація за допомогою тонких монолітних пластин. На рис. 1 наведені види шару гуми з циліндричними каналами: 1 – гума, 2 – герметизуючий шар із гуми або металу. Найбільш широке застосування знайшли екрани, в яких шари герметизовані металевими прошарками, привулканізованими до поверхні гуми. Така технологія забезпечує довговічність екрану і меншу залежність його екрануючих властивостей від гідростатичного тиску.

Для монолітних синтетичних матеріалів типу пластмас також можливо знизити їх ρ_s , якщо ввести в них газові порожнини. В жорстких пластмасах (пенопласти) це обумовлює тільки зменшення густини. Екрани із пінополіуретану здатні працювати при гідростатичному тиску до 10 МПа. Поверхня екрану герметизується шаром гуми, яка має низьку температуру вулканізації. Екрани відрізняються міцністю, надійністю, технологічністю і незамінні, коли екранні конструкції повинні мати складну форму. Приклад побудови конструкції, яка використовується в якості внутрішнього екрану в циліндричних випромінюва-

чах, наведено на рис. 2, де 1 – пінополіуретан, 2 – герметизуюча гумова оболонка.

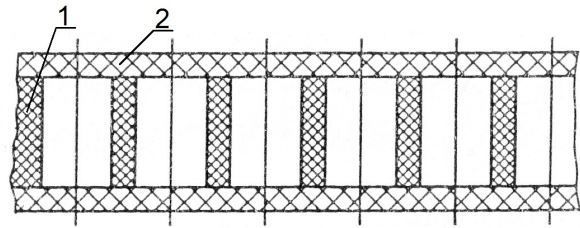


Рис. 1

Із природних твердих середовищ з малим ρ_s відомі пробка, бальзове дерево, повсть, які суттєво змінюють параметри з тиском і вже на глибині 100-150 метрів є неефективними. Відомий також і ряд екрануючих матеріалів на їх основі, такі як пробконоповнена гума (корпрен), пачки папіру.

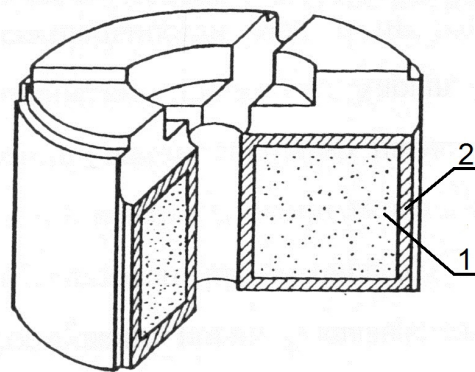


Рис. 2

Найкраще використання відбиваючих властивостей повітря досягається при побудові екранів із податливих або еластичних оболонок. Екрануючі пластинчасті конструкції або заповнені повітрям металеві оболонки володіють високою податливістю, міцністю та стабільністю параметрів при відносно малому об'ємі. Принцип побудови таких конструкцій показано на рис. 3, де 1 – пластини, що згинно коливаються; 2 – газонаповнений герметичний об'єм; 3 – корпус. Податливість конструкцій забезпечується за рахунок згинних коливань пластин. Останні по контуру закріплюються до корпусу, утворюючи заповнений повітрям герметичний об'єм. На частоті резонансу пластин ці конструкції перетворюються в ефективні звукоізолятори, не дивлячись на їх відносно малу товщину. Акустична провідність екрану має мінімальне значення на резонансній частоті пластин.

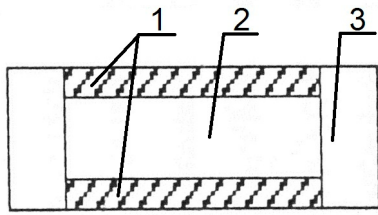


Рис. 3

Найбільш низьку резонансну частоту мають конструкції з шарнірно опертими круглими пластинами. З точки зору міцності пластинчатих оболонок і можливості використання їх при великих гідростатичних тисках найбільш доцільно використовувати сталь, сплави легких металів та міцні пластини. Теоретичні засади розрахунків екрануючих властивостей решіток із заповнених повітрям металевих пластинчатих оболонок наведені в роботі [1].

Сучасні підходи до конструювання акустичних екранів

Оскільки акустичні екрани є складовою частиною електроакустичних антен, то природно, що при їх конструюванні використовують такі ж підходи, що і при конструюванні антен [2]. Зупинимось на них більш детально, базуючись на наведених вище даних про сучасні екрануючі матеріали.

В сучасній конструкторській практиці по створенню акустичних екранів для антен, що працюють в рідині, застосовують екранні конструкції трьох типів: суцільні, решітчасті та змішаного типу.

Конструкції електроакустичних антен з суцільними акустичними екранами м'якого типу зображені на рис. 4–6. Плоский акустичний екран антени рис. 4 виконано ступінчастим із пористої гуми марки 51-1415 і складається із центральної частини 1 і двох крайніх.

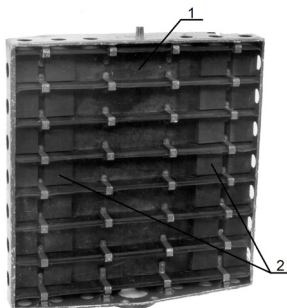


Рис. 4

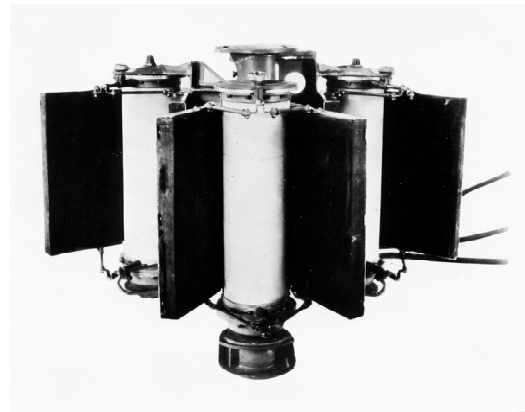


Рис. 5

Крайні частини мають меншу відстань до перетворювачів ніж центральна, завдяки чому таким простим способом в перетворювачі антени вводиться амплітудний розподіл для зменшення бокових пелюсток її характеристики направленості. Як і в розглянутій антені акустичні екрани електроакустичних антен рис. 5–8 є основним засобом формування її направленості. Конструкції рупорів антени рис. 5 утворені із пористої гуми типу 51-1415. Такий же екранний матеріал використано при побудові конструкції рефлекторної антени, зображеної на рис. 6. Заміна акустичного екрану м'якого типу в рефлекторній антені рис. 6 на конструкцію акустичного екрана, зображену на рис. 7 і утворену із екрануючих пластинчатих конструкцій, дозволяє, зберігши направлені властивості антени, суттєво збільшити робочу глибину антени і, особливо, термін її експлуатації, зробивши його практично безстроковим. Таких же властивостей набуває і кругова циліндрична антена, конструкція акустичного екрану якої представлена на рис. 8.



Рис. 6

Конструкції електроакустичних антен з суцільними акустичними екранами жорсткого та змішаного типів зображені на рис. 9–11.

Рефлекторний акустичний екран антени рис. 9 виготовлено методом лиття із сірого чугуна. Такий екран має екрануючі властивості, які не залежать від глибини занурення антени, і високу

точність виконання відзеркалюючої поверхні. Однак його суттєвою вадою є велика маса

Вибір такого матеріалу обумовлений необхідністю виключення умов утворення деформації поверхні екрану за рахунок збудження в ньому при роботі згинних хвиль.

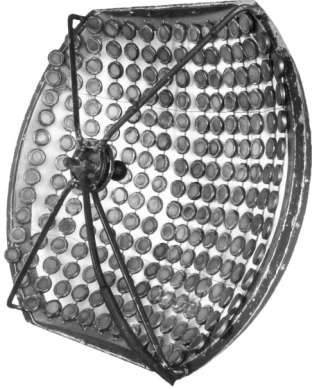


Рис. 7

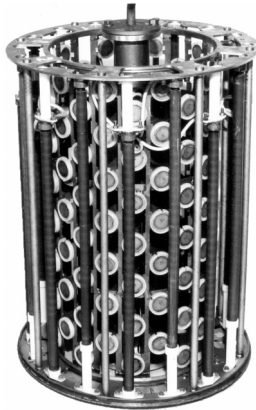


Рис. 8

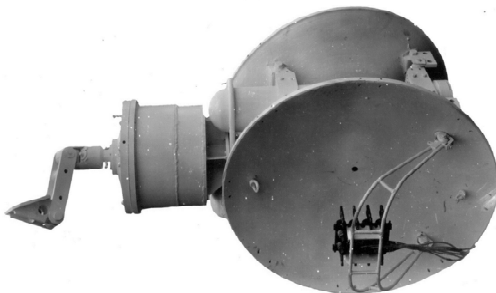


Рис. 9

Інший підхід до розробки конструкцій акустичних екранів демонструють екрани електроакустичних антен, наведених на рис. 12–14. Цей підхід базується на використанні хвильовидного акустичного екрану, запропонованого та дослідженого в роботі [3]. Завдяки тому, що хвильовидний акустичний екран має такі ж звуковідбиваючі та звукоізо-

люючі властивості, як і суцільний, але при цьому його конструкція є решітчастою, він знайшов широке застосування. Він дозволив не тільки створити ряд невідомих до його відкриття типів електроакустичних антен – решітчастих, в тому числі із трансформацією форми та розмірів конструкцій антен, і конструктивно сумісних антенних систем з

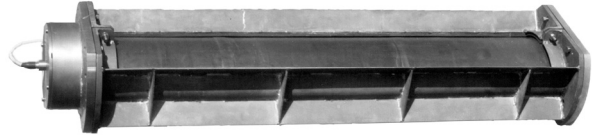


Рис. 10

Цікавим є застосування акустичного екрану змішаного типу, який входить до складу рефлекторної антени, зображеної на рис. 11. Виконання частини відбиваючої звук поверхні акустично м'якою дозволило створити спеціальну форму характеристики направленості антени, суттєво відмінну у двох взаємно ортогональних площинах. При цьому технічна реалізація акустичної м'якості шляхом застосування решіток із заповнених повітрям металевих оболонок забезпечила задану велику робочу глибину занурення антени.



Рис. 11

люючі властивості, як і суцільний, але при цьому його конструкція є решітчастою, він знайшов широке застосування. Він дозволив не тільки створити ряд невідомих до його відкриття типів електроакустичних антен – решітчастих, в тому числі із трансформацією форми та розмірів конструкцій антен, і конструктивно сумісних антенних систем з

розподіленими функціями прийому та випромінювання, але й суттєво покращити характеристики традиційних дискретних антен. Зокрема, екранування акустично м'якими матеріалами (пористою гумою або заповненими повітрям металевими пластинчастими оболонками) бокових поверхонь стержньових перетворювачів в конструкціях дискретних антен [2] дозволило ліквідувати प्रतिфазне випромінювання технологічних зазорів між випромінюючими накладками перетворювачів, оскільки їх акустично м'які бокові поверхні утворили ефективний хвильовідний акустичний екран. Природно, що це обумовило збільшення ефективності цих антен.

В конструктивно сумісних антенних системах [2] конструкції прийомних антен розміщуються перед конструкціями випромінюючих антен. Останні є акустичними екранами для прийомних антен і мають складні частотно залежні властивості вхідних імпедансів. Вирівнювання їх вдалося досягти завдяки введенню до складу випромінюючих антен хвильовідних решітчастих екранів. При цьому в антенних системах, випромінюючі антени яких утворені із стержньових перетворювачів, перетворювачі прийомних антен доцільно розміщувати проти зазорів випромінюючих антен. В інших конструктивно сумісних антенних системах вимоги до умов розміщення перетворювачів прийомних антен є слабкішими.

Природно, що конструкція прийомної антени, яку в конструктивно сумісних антенних системах розміщують перед конструкцією випромінюючої антени, виступає для останньої в якості акустичного екрану, ефективність якого слід зменшувати всіма можливими заходами. Оскільки прийомна антена представляє собою акустичний екран, утворений із податливих оболонок, основні шляхи зменшення його ефективності

не дозволяє оптимізувати технічні рішення, що приймаються, і вимагає в майбутньому суттєво поліпшити саме розрахункове забезпечення конструювання акустичних екранів.

Література

1. Лейко А.Г., Шамарин Ю.Е., Ткаченко В.П. Подводные акустические антенны. – Киев: 2001. – 256 с.
2. Дідковський В.С., Лейко О.Г., Денисенко В.І., Кандрачук І.В. Особливості конструювання електроакустичних антен для рідинних акустичних технологій // Електроніка та зв'язок. – 2011. – №2. – С. 140-145.
3. Гринченко В.Т., Сенченко І.В. Излучение звука частично экранированными оболочками // Прикл. механ. – 1982. – Т.18. №2. – С.15-18.
4. Сенченко І.В. Рассеяние звука пьезокерамической цилиндрической оболочкой вблизи жесткой поверхности // Прикл. механ. – 1984. – Т.20. №7. – С. 111-114.
5. Коржик А.В., Филиппова Н.Ю. Закономерности формирования направленных свойств антенной решетки много-модовых преобразователей в присутствии электроупругого рассеивателя // Электроника и связь, – 2011. – №2. – С. 153-157.
6. Подорожная Е.Ю., Святынюк А.В., Коржик А.В. Закономерности формирования направленных свойств многомодового преобразователя в присутствии акустического экрана // Электроника и связь, – 2011. – №3. – С. 190-194.
7. Вовк И.В., Гринченко В.Т. Волновые задачи рассеяния звука на упругих оболочках. – К.: Наук. думка, 1986. – 240 с.
8. Лейко А.Г., Артеменкова В.А, Вовк И.В., Маяцкий В.И. Решетчатый гидроакустический экран // Авт. свид. СССР № 63712 от 5.07.1972 г.
9. Лейко А.Г., Вовк И.В, Липовецкая Г.Д., Маяцкий В.И. Гидроакустический экран // Авт. свид. СССР № 63390 от 5.07.1972 г.
10. Подводная электроакустическая аппаратура и устройства. Т.1. Подводные акустические антенны. Методы расчета звуковых полей – Киев, 2000. – 320 с.
11. Глазанов В.Е. Экранирование гидроакустических антенн. – Л.: Судостроение, 1986. – 143 с.
12. Вовк И.В., Гринченко В.Т., Лейко А.Г. Поле излучения двух цилиндров, расположенных в незамкнутых кольцевых слоях // Акустический журнал, - 1981. – Т. XXVII. Вып.1 – С. 70-76.
13. Лейко А.Г. Звуковое поле системы эллиптических цилиндрических излучателей в присутствии экрана произвольной акустической жесткости // Акустический журнал, - 1981. – Т. XXVII. Вып.3 – С. 418-427.
14. Гринченко В.Т., Лунева С.А. Звуковое поле двух совместно работающих экранированных цилиндрических излучателей // Акустический журнал, - 1982. – Т. XXVIII. Вып.1 – С. 19-24.